

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



# ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Παπαδημητρίου

Φοιτήτρια: Κελαϊδίτη Ελένη

# Προβληματισμός

- Κοστολόγηση των δικτυακών πόρων για τη δημιουργία και διαχείριση δικτυακών τεμαχίων

## Στόχος

- Μελέτη των εννοιών
  - Δίκτυα Οριζόμενα Μέσω Λογισμικού (Software - Defined Networking - SDN),
  - Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (Network Function Virtualization - NFV),
  - Τεμαχισμός Δικτύου (Network Slicing).
- Εντοπισμός διαφορετικών πολιτικών κοστολόγησης των δικτυακών πόρων
- Διεξαγωγή έρευνας με πραγματικές τιμές βασισμένη σε υπάρχον μοντέλο κοστολόγησης

# 5G Network Softwarization

## Ορισμός

Είναι η έννοια του σχεδιασμού, της αρχιτεκτονικής, της ανάπτυξης και της διαχείρισης στοιχείων δικτύου, βασιζόμενη κυρίως σε ιδιότητες προγραμματισμού λογισμικού


Στόχος του network softwarization είναι η παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών 5G με μεγαλύτερη ευελιξία και οικονομική απόδοση



# Network Function Virtualization (NFV)

## Ορισμός

Είναι η αποσύνδεση των λειτουργιών δικτύου από ιδιόκτητες συσκευές υλικού και η εκτέλεση τους ως λογισμικό σε εικονικές μηχανές. Αυτό σημαίνει ότι οι υπηρεσίες δικτύου, όπως δρομολογητές, τείχη προστασίας, συσκευές επεξεργασίας XML και βελτιστοποίησης WAN, μπορούν να αντικατασταθούν με λογισμικό που εκτελείται σε εικονικές μηχανές.



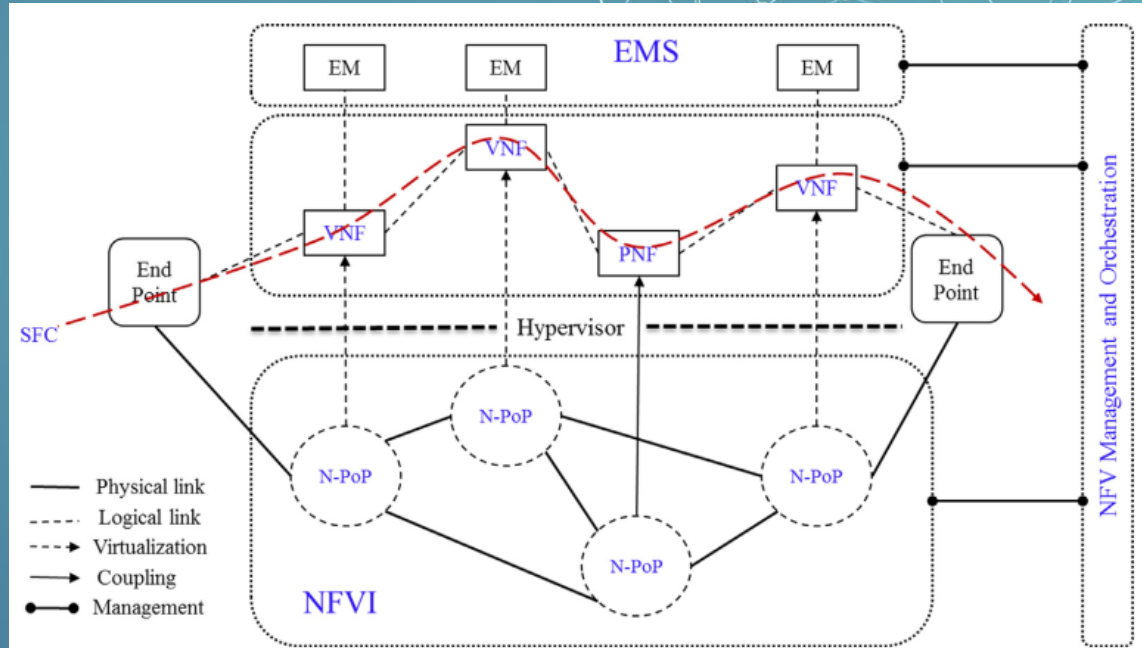
# Network Function Virtualization (NFV)

## Αρχιτεκτονική NFV

1. Λειτουργία φυσικού δικτύου (PNF)
2. Υποδομή εικονικοποίησης λειτουργίας δικτύου (NFVI)
3. Σύστημα Διαχείρισης Στοιχείων (EMS)
4. Διαχείριση και ενορχήστρωση (MANO)
  - Virtualized Infrastructure Manager (VIM)
  - VNF Manager (VNFM)
  - NFV Orchestrator (NFVO)
5. Λειτουργία εικονικού δικτύου (VNF)
6. Δίκτυο Σημείο Παρουσίας (N-PoP)

# Network Function Virtualization (NFV)

## Αρχιτεκτονική NFV



# Software Defined Networking (SDN)

## Ορισμός

Η δικτύωση οριζόμενη από λογισμικό (SDN) συγκεντρώνει τη διαχείριση αφαιρώντας το επίπεδο ελέγχου από τη λειτουργία προώθησης δεδομένων στις διακριτές συσκευές Δικτύωσης. Είναι μια αρχιτεκτονική που έχει σχεδιαστεί για να κάνει ένα δίκτυο πιο ευέλικτο και πιο εύκολο στη διαχείριση.

# Software Defined Networking (SDN)

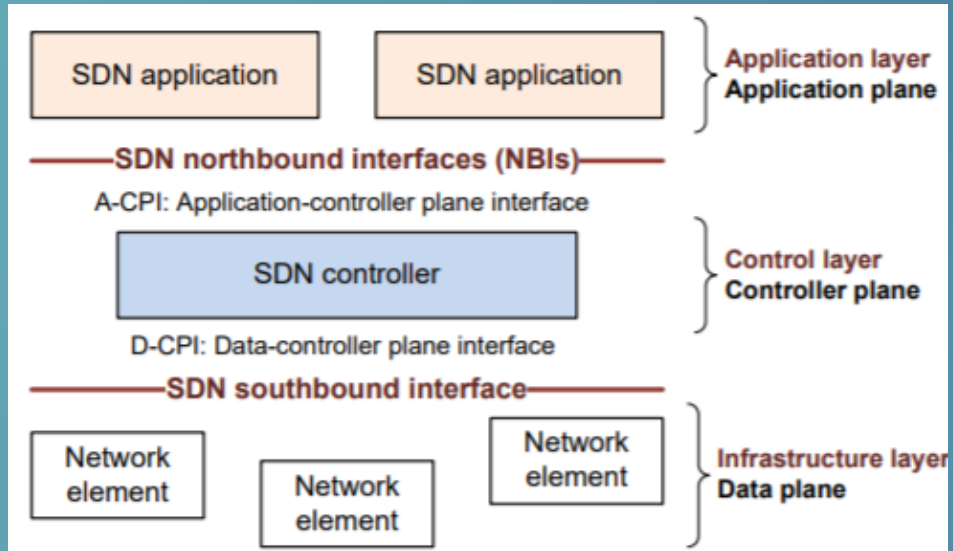
## Αρχιτεκτονική SDN

Η αρχιτεκτονική SDN παρέχει ένα κεντρικό, προγραμματιζόμενο δίκτυο που αποτελείται από τα εξής:

- Ελεγκτή - controller: είναι υπεύθυνος για «την κεντρική διαχείριση και έλεγχο, αυτοματοποίηση και επιβολή πολιτικής σε φυσικά και εικονικά περιβάλλοντα δικτύου»
- Southbound API: μεταδίδουν πληροφορίες μεταξύ του ελεγκτή και των μεμονωμένων συσκευών δικτύου (όπως διακόπτες, σημεία πρόσβασης, δρομολογητές και τείχη προστασίας)
- Northbound API: μεταδίδουν πληροφορίες μεταξύ του ελεγκτή και των εφαρμογών και μηχανών πολιτικής, στις οποίες ένα SDN μοιάζει με μία λογική συσκευή δικτύου.



# Software Defined Networking (SDN)



# Πλεονεκτήματα SDN

- Κεντρική παροχή δικτύου
- Ολιστική διαχείριση επιχειρήσεων
- Μεγαλύτερη ασφάλεια
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας
- Εξοικονόμηση υλικού και μειωμένες κεφαλαιουχικές δαπάνες
- Cloud abstraction
- Συνεπή και έγκαιρη παράδοση περιεχομένου



# Network Slicing

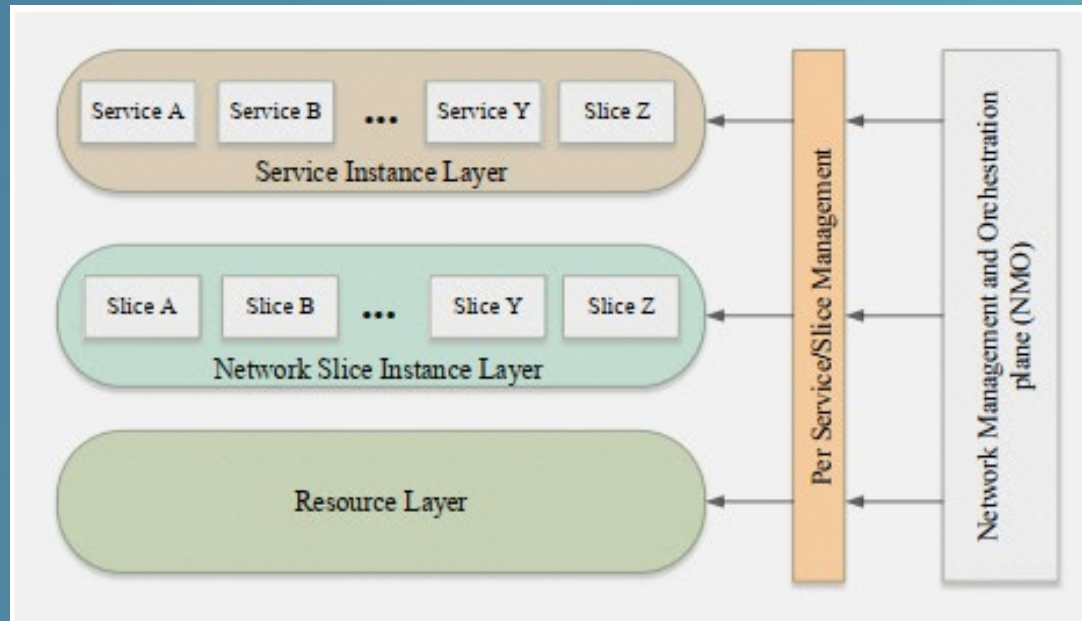
## Ορισμός

Είναι ένα σύνολο εκτελέσιμων λειτουργιών δικτύου και πόρων που εκτελούν αυτές τις λειτουργίες δικτύου, σχηματίζοντας ένα ολοκληρωμένο λογικό δίκτυο για την κάλυψη ορισμένων χαρακτηριστικών δικτύου που απαιτούνται από τις υπηρεσίες (Service Instance(s)).



# Network Slicing

## Αρχιτεκτονική



# Network Slicing

*Ο τεμαχισμός δικτύου - network slicing αποτελείται από δύο φάσεις*

- **τη δημιουργία του τεμαχίου**, κατά την οποία ο τελικός χρήστης αιτείται ένα τεμάχιο ότι από τη λίστα των υπάρχοντων προσφερόμενων τεμαχίων και έπειτα ο διαχειριστής ή πάροχος του δικτύου δίνει/εκχωρεί το συγκεκριμένο τεμάχιο
- **τον χρόνο λειτουργίας (run-time)**, όπου κάθε τεμάχιο ανασυγκροτείται από διαφορετικά λειτουργικά μπλοκ ανάλογα με τις ανάγκες του τελικού χρήστη.

# Network Slicing

## *Σενάρια χρήσης του τεμαχισμού δικτύου στα δίκτυα επικοινωνίας*

**Τεμαχισμός για QoS:** δημιουργούνται διάφορα τεμάχια για να παρέχουν διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες και να διασφαλίσουν συγκεκριμένους τύπους απαιτήσεων QoS μέσα σε ένα συγκεκριμένο τεμάχιο.

**Τεμαχισμός για την κοινή χρήση υποδομής:** στόχος είναι η εικονικοποίηση της υποδομής RAN ενός ασύρματου δικτύου και ο περαιτέρω διαμοιρασμός μεταξύ διαφόρων φορέων. Αποτέλεσμα αυτού του είδους τεμαχισμού δικτύου είναι η βελτιστοποίηση του μοντέλου κόστους του δικτύου για την αύξηση των συνολικών εσόδων, ενώ παράλληλα παρέχει και επεκτασιμότητα δικτύου.

# Μοντέλο κατανομής κόστους σε διαφορετικά slices

«Network Slicing Cost Allocation Model» των Asma Chiha, Marlies Van der Wee, Didier Colle, και Sofie Verbrugge

• Για το μοντέλο ισχύουν τα εξής

- Ένα κομμάτι δικτύου θα υποστηρίξει μία συγκεκριμένη υπηρεσία.
- Ένα προκαθορισμένο throughput κατοχυρώνεται για κάθε υπηρεσία στο RAN και στο δίκτυο μεταφοράς με στατικό τρόπο.
- Από την πλευρά του κεντρικού δικτύου, μια υπηρεσία/τεμάχιο αποτελείται από μια αλυσίδα (εικονικών) λειτουργιών δικτύου.
- Οι λειτουργίες εικονικού δικτύου (VNF) εκτελούνται σε εικονικές μηχανές (VM), οι οποίες εκτελούνται με τη σειρά τους σε διακομιστές και μία VM μπορεί να φιλοξενήσει μόνο ένα VNF.

$$C_{slice} = C_{Thp} + \sum_{i=1}^K C_{VNF(i)} + \sum_{j=1}^1 C_{phNF(j)}$$

# Μοντέλο τιμολόγησης σύμφωνα με τις ανάγκες του καταναλωτή

«Differential Pricing of 5G Network Slices for Heterogeneous Customers» των Siying Chen και Bhaskar Krishnamachari

- Στόχος του μοντέλου είναι να υπάρχει διαφορετική χρέωση για διαφορετικές μετρήσεις πελατών. Θα υπάρχει διαφορετική χρέωση ανά κατηγορία όπως για παράδειγμα το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, η ενεργειακή απόδοση και ο πελάτης θα χρεώνεται σύμφωνα με την τιμή πόρου της κατηγορίας που τον ενδιαφέρει.
- Σε αυτό το μοντέλο ο πάροχος υποδομής 5G διαθέτει πόρους σε δύο κατηγορίες ενοικιαστών που ενδιαφέρονται για: α) το εύρος ζώνης και β) την καθυστέρηση, δίνοντας διαφορετικές τιμές σε κάθε κατηγορία βελτιώνοντας έτσι το κέρδος του παρόχου.



# Μοντέλο τιμολόγησης ανεξάρτητο της απόδοσης δικτύου και της τοποθεσίας

«The Price is Right: Towards Location-Independent Costs in Datacenters» των Hitesh Ballani, Paolo Costa, Thomas Karagiannis και Ant Rowstron

- ένα μοντέλο τιμολόγησης όπου διασφαλίζεται ότι το κόστος ενοικίασης δεν εξαρτάται από την απόδοση του δικτύου τους και ότι είναι ανεξάρτητο από την τοποθεσία.
- όταν μια εικονική μηχανή δημιουργεί επισκεψιμότητα σε λιγότερο από το βασικό εύρος ζώνης, ο ενοικιαστής πληρώνει ένα σταθερό κόστος πληρότητας της εικονικής μηχανής.
- όταν η εικονική μηχανή δημιουργεί επισκεψιμότητα με υψηλότερο ρυθμό, το κόστος ενοικίασης είναι ανάλογο με το ποσό των δεδομένων που μεταφέρονται.

# Επενδυτική τιμολόγηση

## «On Controlling Spectrum Fragility via Resource Pricing in 5G Wireless Networks»

- Ο πάροχος παρακινεί τους χρήστες να αναβάλλουν τη χρήση των πόρων - απαιτήσεις τους για εύρος ζώνης, την ώρα αιχμής ώστε να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο. Ο πάροχος χρεώνει διαφορετική τιμή σύμφωνα με την συμμόρφωση.
- Ο πελάτης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν θα χρησιμοποιήσει το δίκτυο, γνωρίζοντας το ποσό που θα χρεωθεί. Αποτέλεσμα ο πελάτης - χρήστης να μπορεί να επιλέξει την τιμή που θέλει να χρεωθεί σύμφωνα με την συμμόρφωση του δικτύου και να εξοικονομήσει χρήματα.

# Μοντέλο τιμολόγησης του Novel Enablers for Cloud Slicing -(NECOS) project

Βασικό χαρακτηριστικό του project είναι το Lightweight Slice Defined Cloud (LSDC) που «επεκτείνει την εικονικοποίηση σε όλους τους πόρους στα εμπλεκόμενα δίκτυα και κέντρα δεδομένων και παρέχει ομοιόμορφη διαχείριση με υψηλό επίπεδο εννοχρήστρωσης».

- ο χρήστης χρεώνεται σύμφωνα με το κόστος των χαρακτηριστικών της εικονικής ή εικονικών μηχανών που έχει επιλέξει, το κόστος των εικονικών συνδέσεων που χρησιμοποιεί και των λοιπών στοιχείων.
- ο χρήστης - καταναλωτής χρεώνεται σύμφωνα με το χρονικό διάστημα της χρήσης του.
- υπάρχουν περιορισμοί, δηλαδή ανώτατο όριο στο κόστος της χρήσης πόρου, εικονικής μηχανής, συνδέσμου και των στοιχείων δικτύου.

# Μοντέλο τιμολόγησης του Novel Enablers for Cloud Slicing -(NECOS) project

Στο μοντέλο τιμολόγησης ορίζουν το αίτημα ενός ενοικιαστή για ένα σύνολο απαιτήσεων ως

$$R_s = \langle t_s^r, t_s^b, t_s^e, SP_s, K_s \rangle$$

Επίσης καθορίζονται τα σύνολα

$H = \{h_1, h_2, h_3, \dots\}$  ως πιθανοί κεντρικοί υπολογιστές

$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots\}$  ως πιθανοί σύνδεσμοι

$N = \{n_1, n_2, n_3, \dots\}$  ως πιθανά στοιχεία δικτύου

# Μοντέλο τιμολόγησης του Novel Enablers for Cloud Slicing -(NECOS) project

Τα τμήματα ενός συγκεκριμένου τεμαχίου  $S$  ορίζονται ως πολλαπλά σύνολα που δίνονται από:

$$SP_S = \begin{cases} \{(h, m(h)) : h \in H_S\}, \text{όπου } H_S \subseteq H \\ \{(l, m(l)) : l \in L_S\}, \text{όπου } L_S \subseteq L \\ \{(n, m(n)) : n \in N_S\}, \text{όπου } N_S \subseteq N \end{cases}$$

- κεντρικός υπολογιστής ορίζεται από τη CPU, τη μνήμη και τη χωρητικότητα αποθήκευσης.
- σύνδεσμοι, χαρακτηρίζονται από ιδιότητες χωρητικότητας, καθυστέρησης και jitter
- στοιχεία δικτύου από την χωρητικότητα, τις θύρες και τις ιδιότητες ουράς.

Συνολικό κόστος τεμαχίου  $S$ :

$$\begin{aligned} C_S(R_S, SP_S) = & \sum_{p \in P_{H_S}} \sum_{h \in (H_S \cap P_{H_S})} m_p(h) \cdot \int_{t_s^b}^{t_s^e} f_p(h, t) dt + \\ & + \sum_{p \in P_{L_S}} \sum_{h \in (L_S \cap P_{L_S})} m_p(l) \cdot \int_{t_s^b}^{t_s^e} f_p(l, t) dt + \\ & + \sum_{p \in P_{N_S}} \sum_{h \in (N_S \cap P_{N_S})} m_p(n) \cdot \int_{t_s^b}^{t_s^e} f_p(n, t) dt \end{aligned}$$

# Μοντέλο κοστολόγησης με Τεχνητή Νοημοσύνη

«A Virtualization Infrastructure Cost Model for 5G Network Slice Provisioning in a Smart Factory» των Jaspreet Singh Walia, Heikki Hämmäinen, Kalevi Kilkki, Hannu Finck, Seppo Yrjölä and Marja Matinmikko-Blue

- Μοντέλο κόστους της υποδομής εικονικοποίησης για την παροχή των δικτυακών τεμαχίων και το εφαρμόζουν σε ένα έξυπνο εργοστάσιο.
- Πραγματοποιείται χαρτογράφηση στους τύπους των τεμαχίων και στις συσκευές για να έχει κάθε εργοστασιακή συσκευή έναν ή περισσότερους τύπους φέτας, ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Γίνεται πρόβλεψη για τους τύπους συσκευών των χρηστών του εργοστασίου για τη περίοδο 2021-2030 και με βάση αυτή τη πρόβλεψη και τα κατανεμημένα τεμάχια κάνουν πρόβλεψη για τον τύπο του τεμαχίου. Σύμφωνα με τα κατανεμημένα τεμάχια και την πρόβλεψη για τον τύπο τους, υπολογίζονται οι απαιτήσεις για κάθε τύπο τεμαχίου, ο αριθμός των εξυπηρετητών και γίνεται επίσης μια εκτίμηση για τα racks, τα switch και τις καλωδιώσεις.
- Τέλος, υπολογίζεται το κόστος των στοιχείων στο νέφος δηλαδή τις κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) όπου περιλαμβάνονται racks, switches, καλωδίωση και τις λειτουργικές δαπάνες (OPEX), όπως άδειες χρήσεις λογισμικού.

# Εμπειρική Διερεύνηση

Instances	vCPU	Memory	Storage	Price per hour \$
1	2	16 GiB	118	\$ 0,1152
2	4	16 GiB	237	\$ 0,1808
3	8	32 GiB	475	\$ 0,3616
4	16	64 GiB	950	\$ 0,7232
5	32	128 GiB	600	\$ 1,8080

Bandwidth	Port-hour rate
1 Gbps	\$ 0,30
10 Gbps	\$ 2,25
100 Gbps	\$ 22,50

From / To	Data transfer-Direct Connect per GB							
	US East	Europe	Asia Pacific (Mumbai)	South America (Sao Paulo)	Asia Pacific (Sydney)	Middle East (Bahrain)	Africa (Cape Town)	Canada
US	\$0,02	\$0,0282	\$0,085	\$0,15	\$0,13	\$0,11	\$0,11	\$0,02
EU	\$0,02	\$0,02	\$0,085	\$0,1107	\$0,13	\$0,11	\$0,11	\$0,03

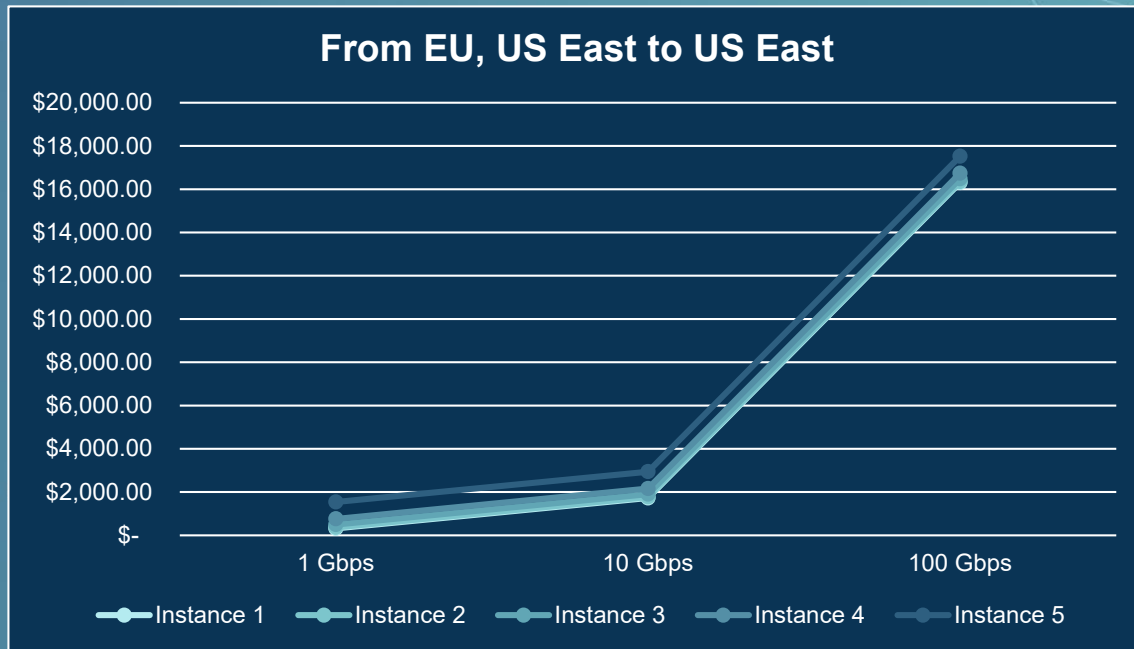
# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο

Υπολογίζουμε το κόστος που δημιουργείται για τις εικονικές μηχανές με τη χρήση των 1, 10 και 100 Gbps bandwidth για 30 ημέρες. Υποθέτουμε ότι καταναλώνονται 1000 GB το μήνα.

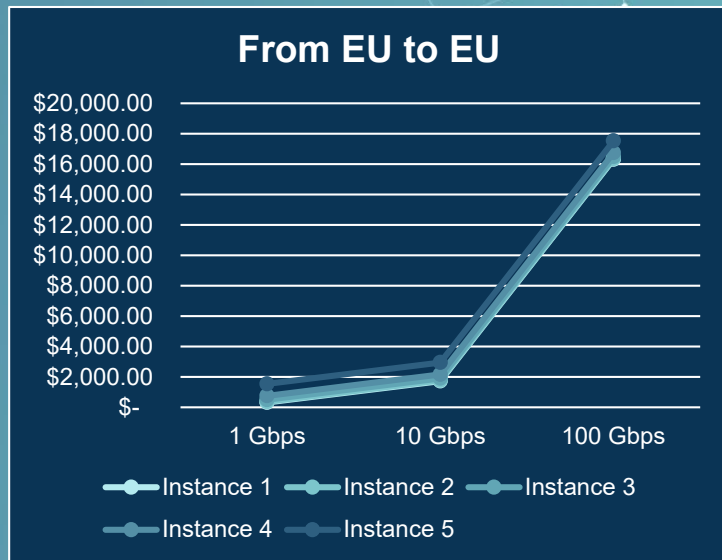
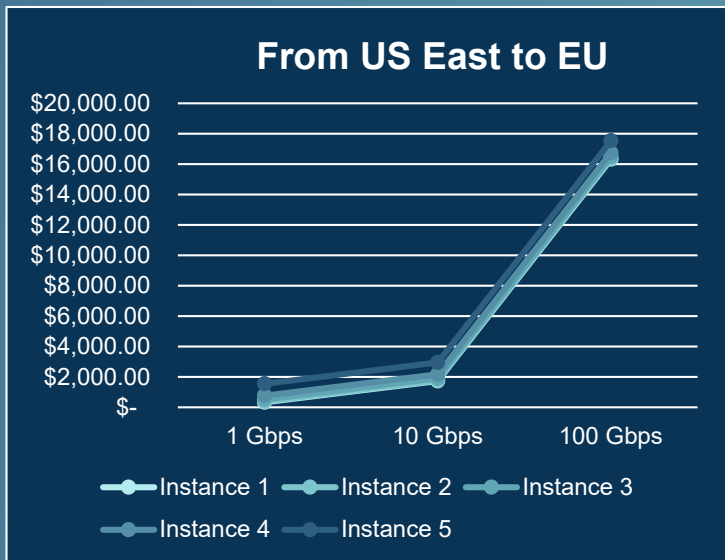
**Συνολικό κόστος = (κόστος instance \* 24 ώρες \* 30 ημέρες) + (κόστος bandwidth \* 24 ώρες \* 30 ημέρες) + data transfer \* 1000**



# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο

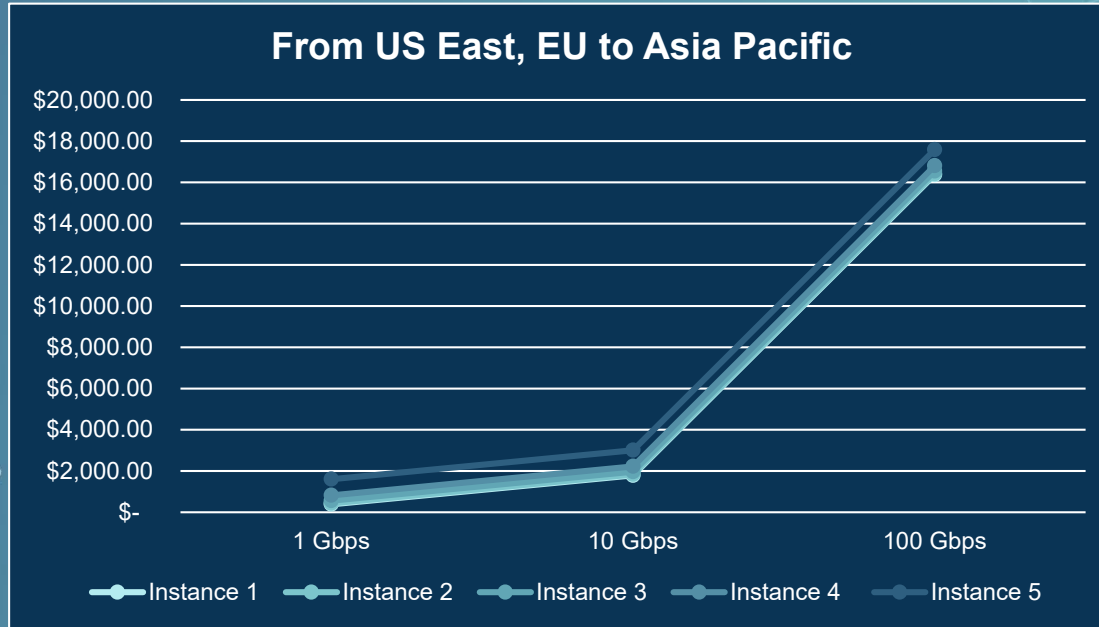


# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο

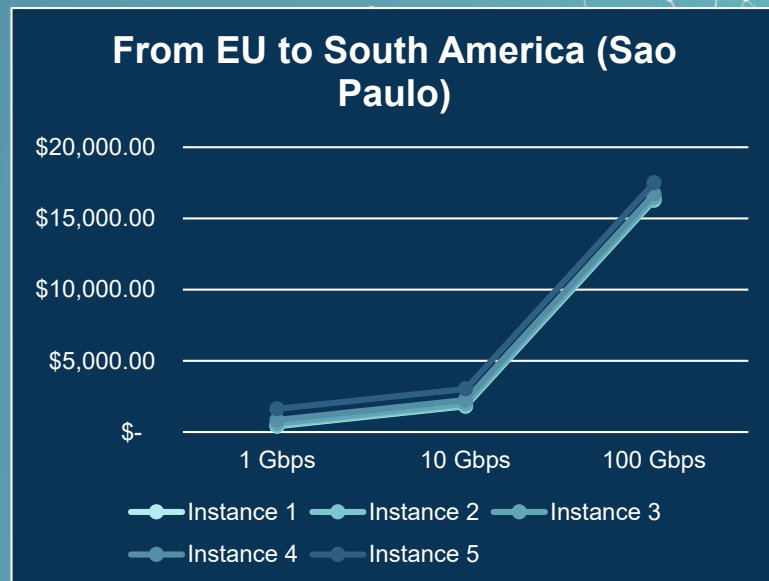
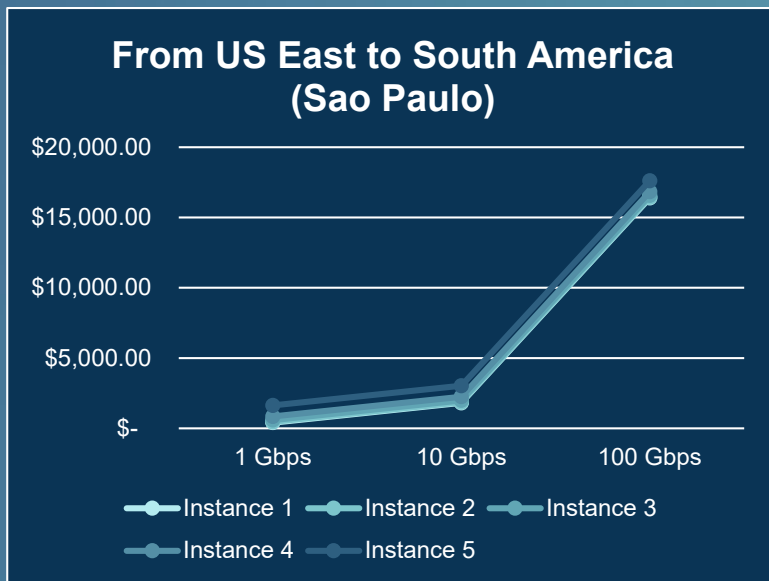


Οι τιμές από το US East region στο EU και από EU region προς EU κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με μικρές αυξομειώσεις.

# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο

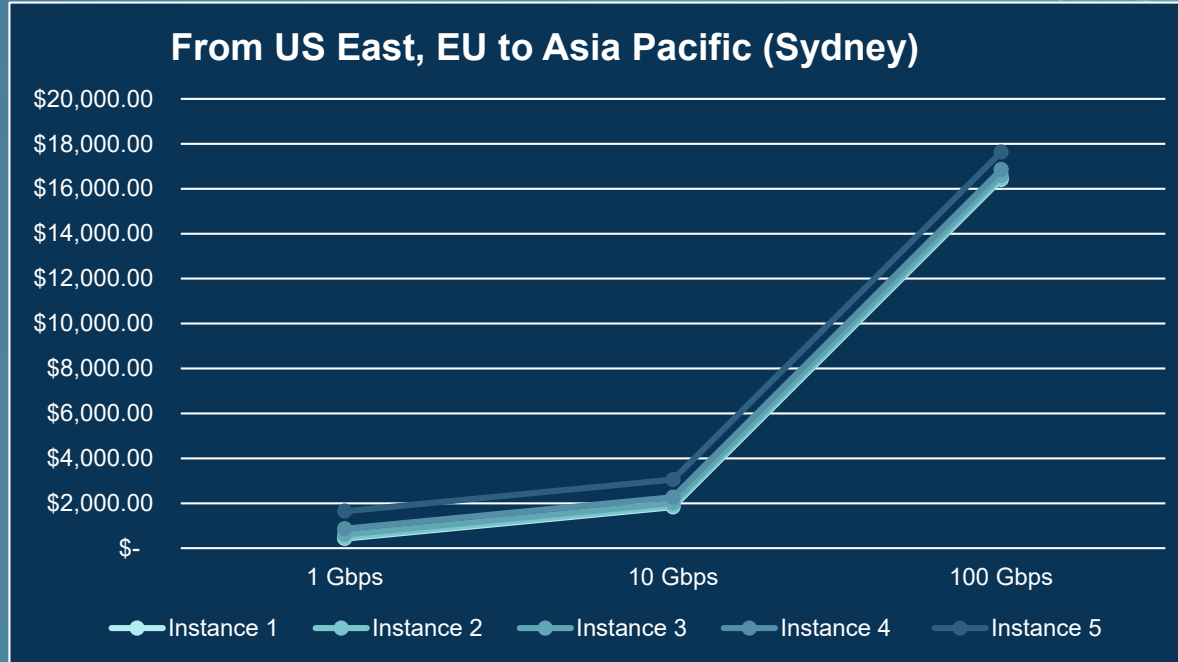


# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο

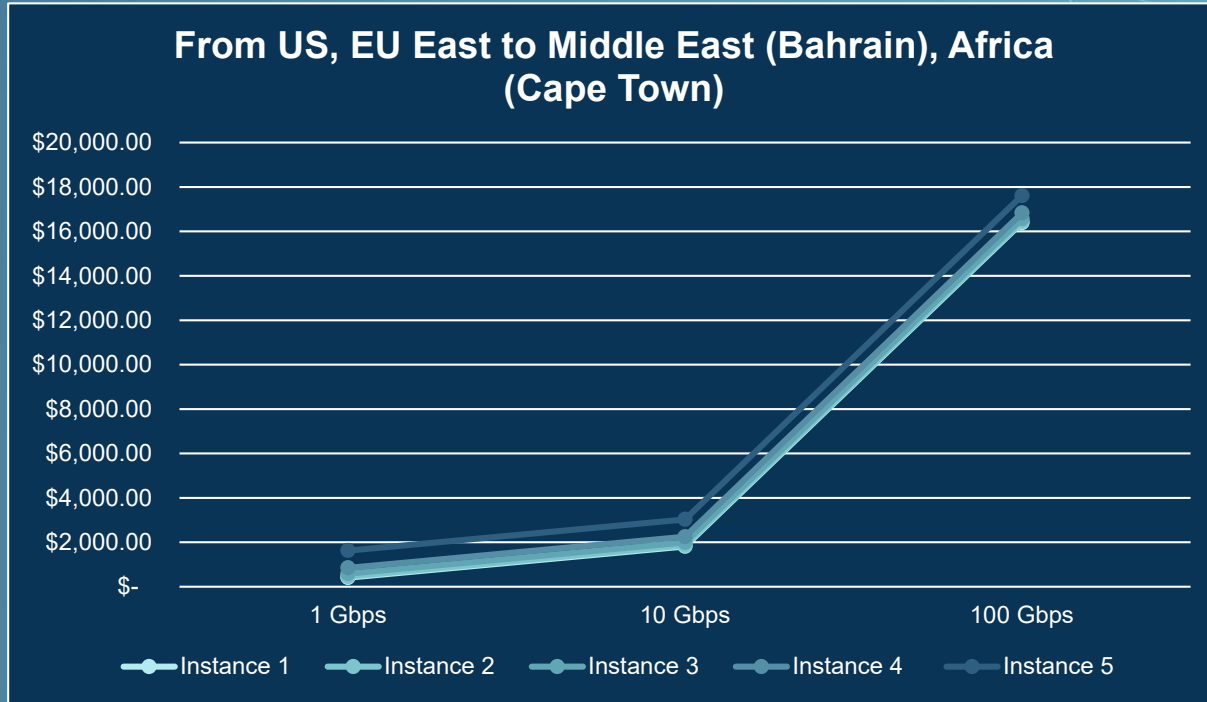


Οι τιμές από το US East region στο EU και από EU region προς EU κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με μικρές αυξομειώσεις.

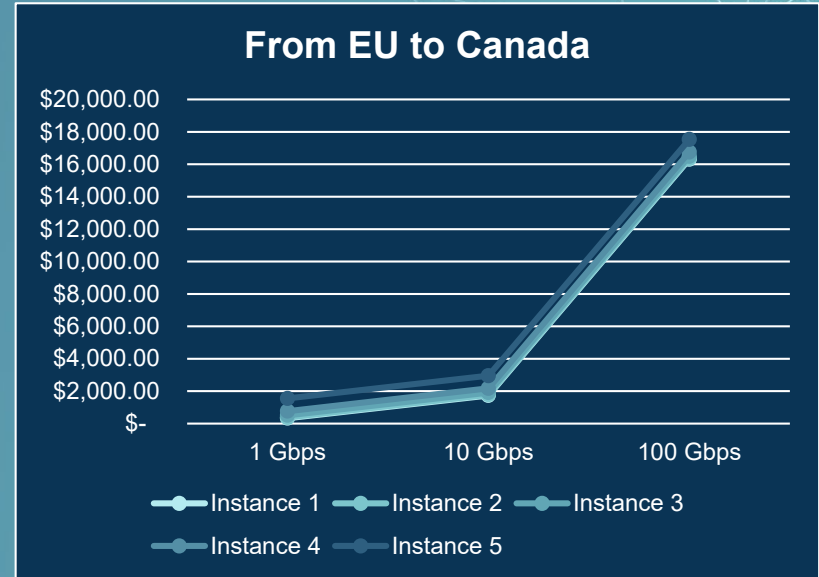
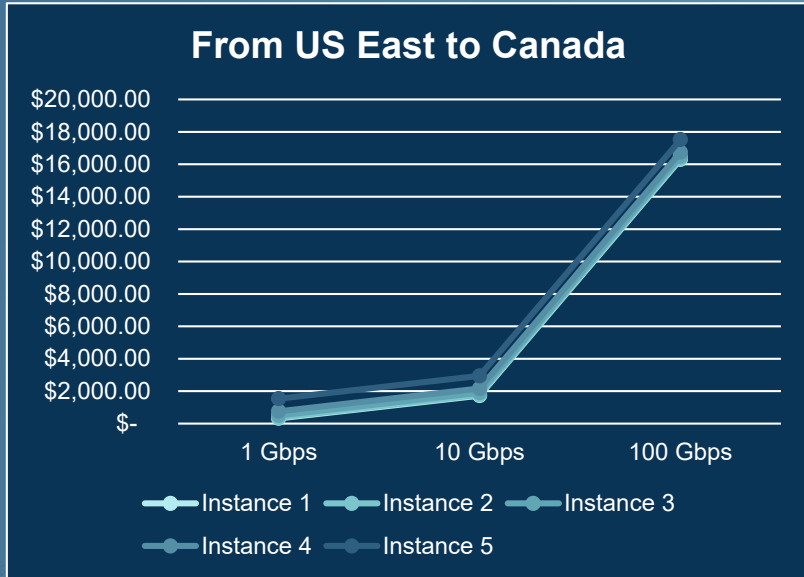
# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο



# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο



# Δημιουργία τεμαχίου με ένα στιγμιότυπο



Παρατηρούμε ότι οι ποσοστιαίες αυξήσεις από EU προς Canada είναι λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές από το US East region στο Canada.

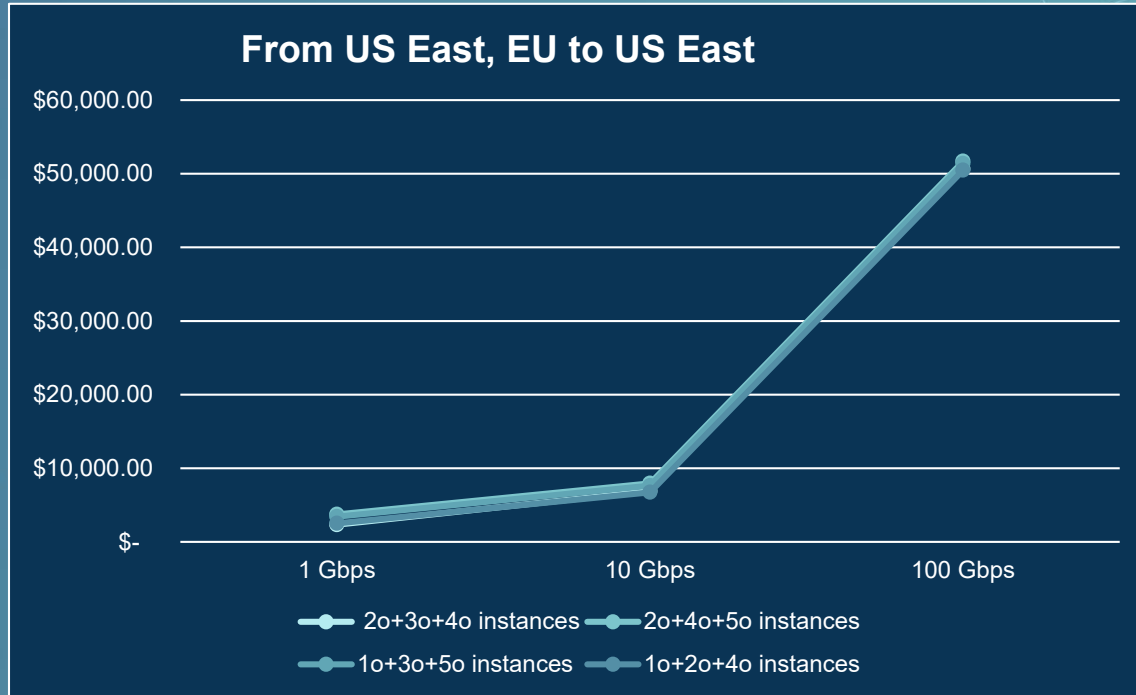
# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα

- Το κόστος για 3 συνδέσμους: \$0,50 την ώρα
- Το κόστος για 1 διακόπτη : \$0,50 την ώρα

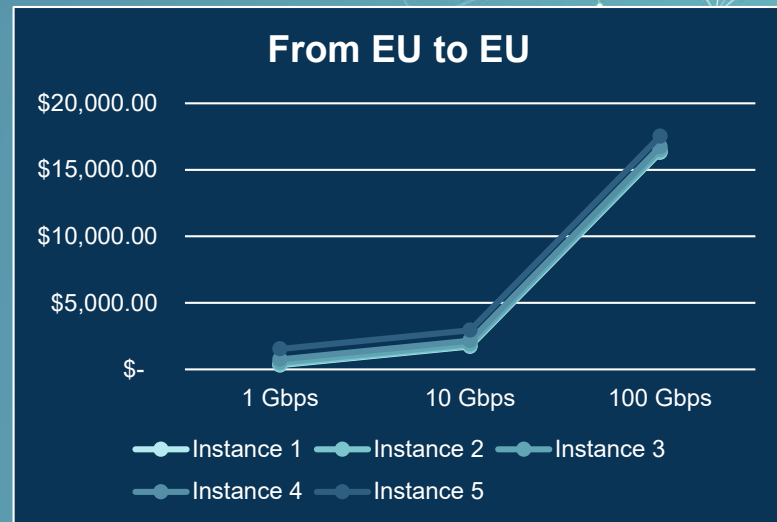
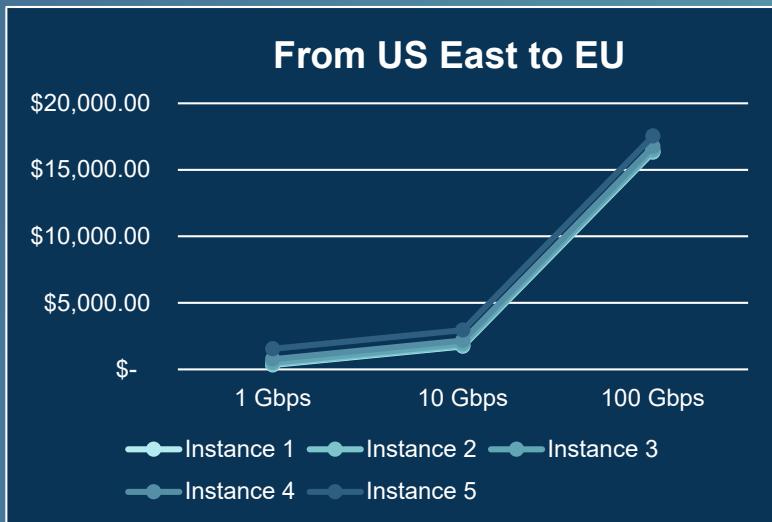
**Συνολικό κόστος = (κόστος instance \* 24 ώρες \* 30 ημέρες)**  
**+ (κόστος bandwidth \* 24 ώρες \* 30 ημέρες)**  
**+ (κόστος virtual link\* σύνολο virtual link \* 24 ώρες \* 30 ημέρες)**  
**+ (κόστος switch \* σύνολο switch \* 24 ώρες \* 30 ημέρες)**  
**+ data transfer \* 1000**



# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα

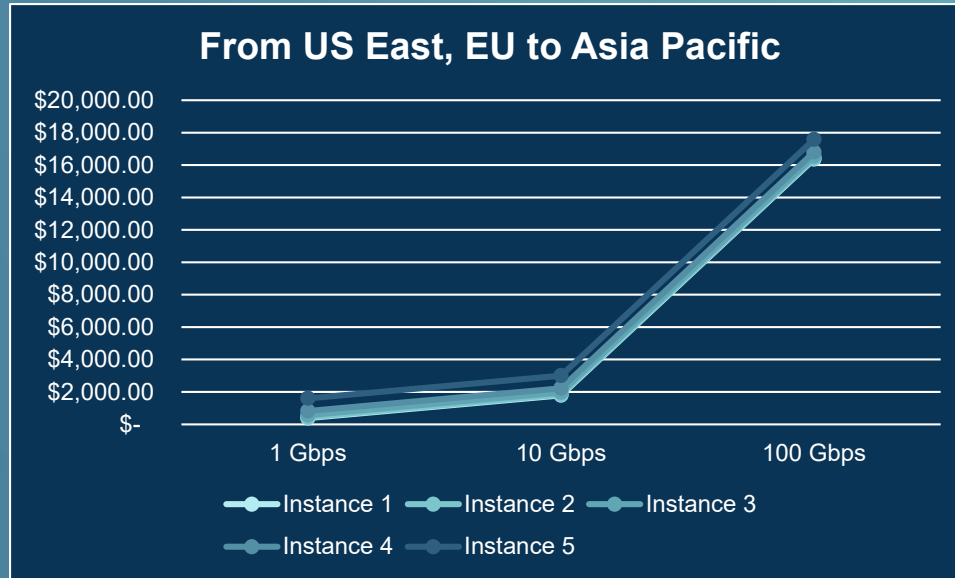


# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα

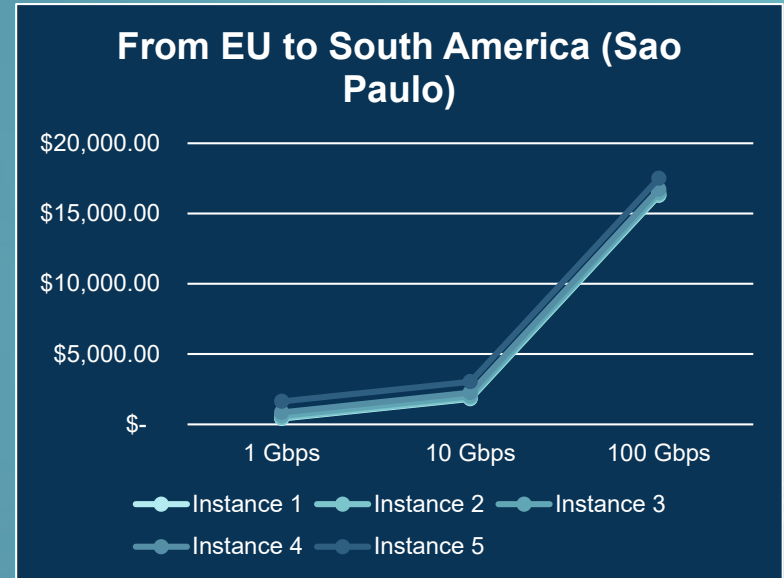
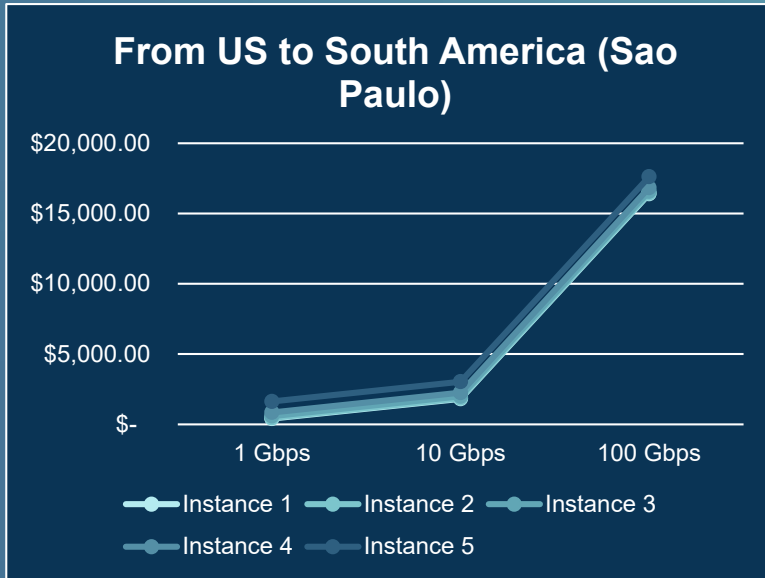


Οι τιμές από το US East σε EU και από EU σε EU κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με μικρές αυξομειώσεις.

# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα

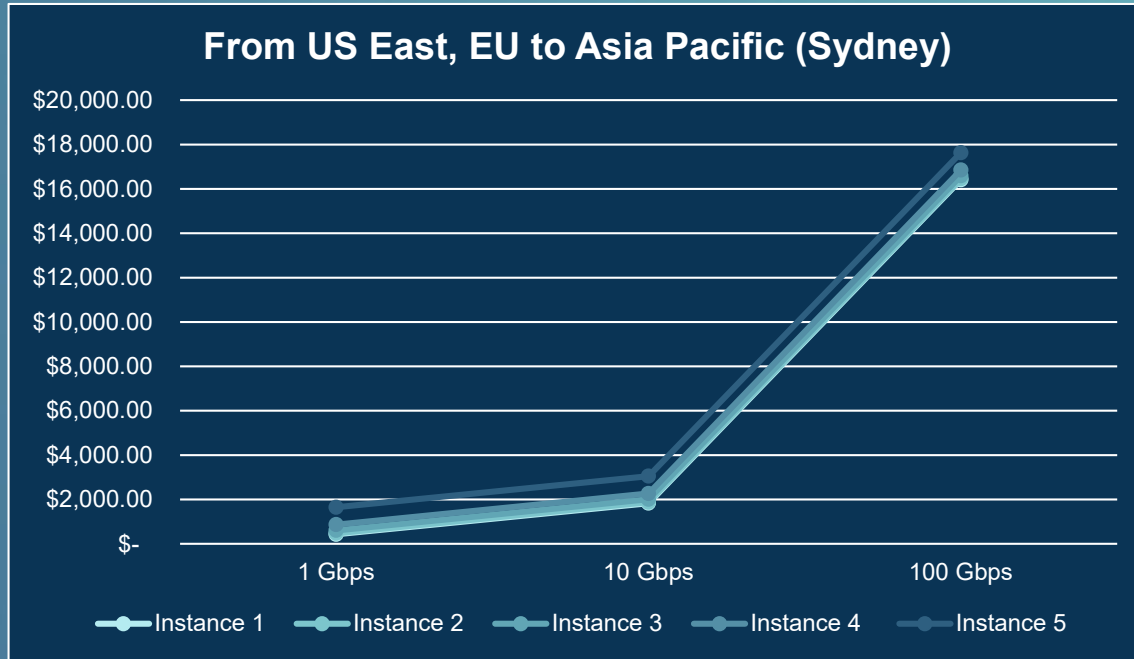


# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα

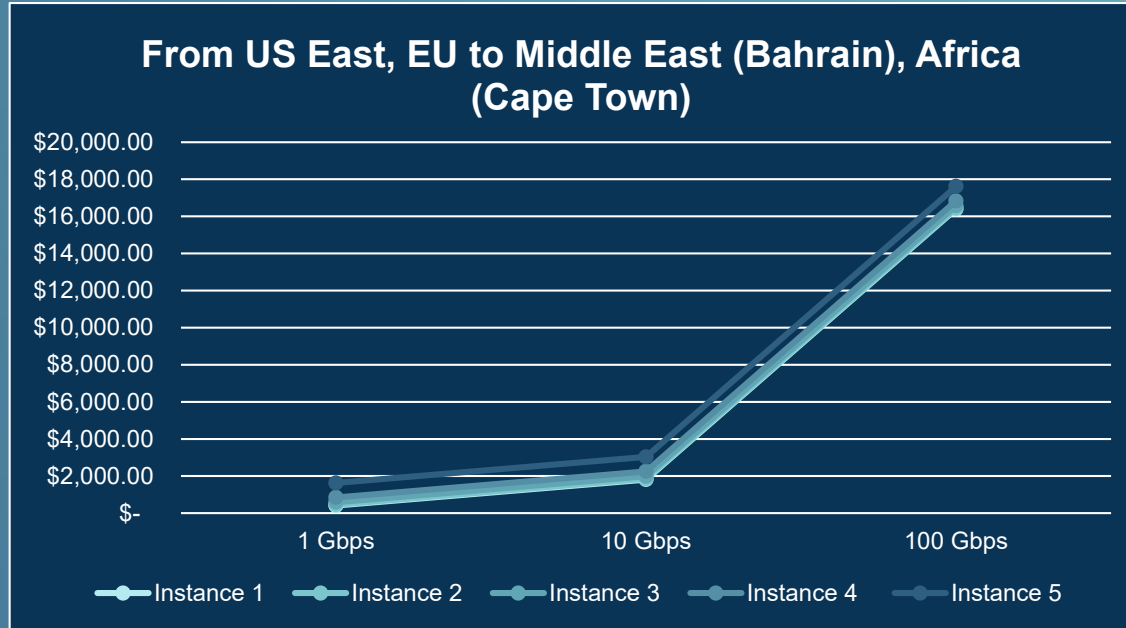


Ο αποκλίσεις είναι αμελητέες

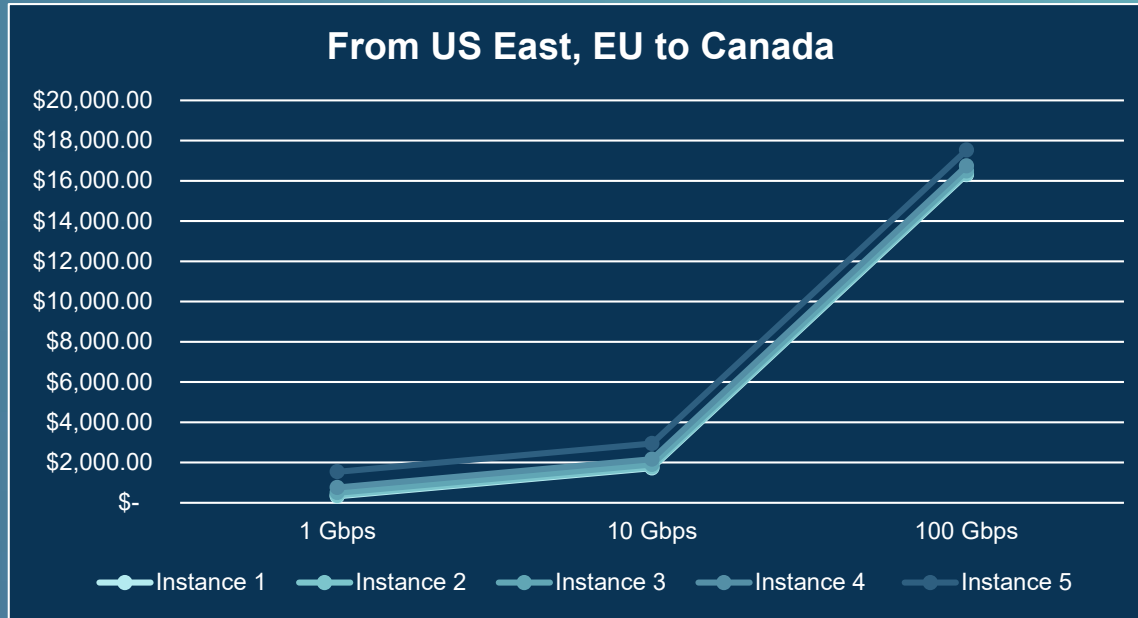
# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα



# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα



# Δημιουργία τεμαχίου με τρία στιγμιότυπα



# Συμπεράσματα

Δικτυακό τεμάχιο αποτελούμενο από ένα στιγμιότυπο

- Εστίασαμε στο διαφορετικό κόστος που διαμορφώνεται για διαφορετικά regions, προσθέτοντας το κόστος του data transfer για 1000 GB για 30 ημέρες.
- Πραγματοποιήσαμε μια μικρή σύγκριση του κόστους από το 1 Gbps στα 10 Gbps και από τα 10 Gbps στα 100 Gbps από το US East και το EU region προς US East, EU, Asia Pacific (Mumbai), South America (Sao Paulo), Asia Pacific (Sydney), Middle East (Bahrain), Africa (Cape Town) και Canada.
- Παρατηρήσαμε ότι οι τιμές κυμαίνονται γενικότερα στα ίδια επίπεδα με πολύ μικρές αποκλίσεις.



# Σύνοψη και Συμπεράσματα

Δικτυακό τεμάχιο αποτελούμενο από τρία στιγμιότυπα

- Τελικά τα regions δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στο κόστος μιας και οι αποκλείσεις είναι πολύ μικρές. Αυτό παρατηρήθηκε και για τις τρεις κατηγορίες bandwidth και στα τέσσερα τεμάχια που δημιουργήσαμε.
- Δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ US East και το EU region στο συνολικό κόστος. Για τα regions US East, EU, Asia Pacific (Mumbai), Asia Pacific (Sydney), Africa (Cape Town) και Canada το κόστος ήταν σχεδόν ίδιο από US East και από EU ενώ υπήρχαν μικρές αποκλίσεις στο EU και South America (Sao Paulo).

# Μελλοντικές Επεκτάσεις

- Διερεύνηση περισσότερων μοντέλων κοστολόγησης
- Εμπειρική διερεύνηση σε τεμάχια αποτελούμενα από αρκετά διαφορετικά στιγμιότυπα
- Δημιουργία μοντέλου κοστολόγησης
- Εφαρμογή του μοντέλου σε υποδομή
- Έρευνα για το κόστος της υποδομής, υπολογισμός OPEX και CAPEX
- Δημιουργία εφαρμογής υπολογισμού κόστους του τεμαχίου για το χρήστη.

The image features a solid teal background. In the top-left and top-right corners, there are decorative white geometric patterns consisting of interconnected lines and dots, resembling a network or a stylized molecular structure. The text is centered in the middle of the page.

**Ευχαριστώ για την προσοχή σας!!!!**